

УДК 621.397.13

А. А. Янин

ОАО "Научно-исследовательский институт телевидения"

## Улучшение существующих методов измерений в сетях цифрового эфирного телевизионного вещания

*Рассмотрены современные методы и средства измерений, применяемые в российских сетях цифрового эфирного телевизионного вещания. Предложены способы повышения эффективности и объективности измерений в цифровом телевидении.*

**Цифровое телевидение, DVB-T2, T2-MI, измерительный комплекс, анализатор транспортного потока, цифровой измерительный приемник, качество восприятия**

В связи с достаточно длительным переходом в России к цифровому эфирному телевизионному вещанию сложилась непростая ситуация с измерениями в телевидении. На начальном этапе указанный переход предусматривал строительство сети в соответствии с европейским стандартом DVB-T<sup>1</sup>. Отечественные предприятия, занимающиеся производством метрологической аппаратуры, длительное время разрабатывали измерительные комплексы, совместимые с данным стандартом. Регламентные документы, в которых устанавливаются требования и методы проведения измерений, также составлялись с учетом требований стандарта DVB-T. Решение Правительства РФ о переходе на стандарт DVB-T2<sup>2</sup> привело к непригодности разработанных средств измерений для использования в сетях цифрового эфирного телевидения, так как стандарт DVB-T2 использует технологии, не совместимые с DVB-T (помехозащитное кодирование LDPC и BCH, модуляция 256-QAM, 32K OFDM и др.). Отечественные разработчики метрологического оборудования, прежде ориентированные на стандарт DVB-T, не смогли в короткие сроки предоставить измерительные комплексы для контроля сетей DVB-T2, а утвержденные (или готовящиеся к утверждению) документы, регламентирующие требования и

методы проведения измерений, оказались во многом неактуальны и требовали существенной переработки. В связи с этим возник недостаток (вплоть до отсутствия) отечественных измерительных средств, необходимых для настройки и поддержания требуемых характеристик цифровых систем передачи телевизионной информации, что усугублялось отсутствием введенных в действие актуальных регламентных документов.

В настоящее время ситуация постепенно меняется к лучшему. В сентябре 2014 г. введен в действие Государственный стандарт ГОСТ Р 55696–2013 "Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2" [1], устанавливающий основные параметры радиопередатчиков, технические требования к радиопередатчикам и методы проведения измерений в сетях DVB-T/T2. Но учитывая малый опыт эксплуатации сетей цифрового эфирного вещания DVB-T2 и слабую корреляцию положений стандарта с результатами практических исследований, можно предположить, что методы измерений, предложенные в стандарте, потребуют доработки.

**Типовой комплекс измерительного оборудования для систем цифрового эфирного вещания стандарта DVB-T/T2.** Согласно ГОСТ Р 55696–2013 типовой комплекс измерительного оборудования для систем цифрового эфирного вещания стандарта DVB-T/T2 должен включать в себя следующие приборы:

- генератор телевизионного цифрового сигнала;
- измерительный цифровой приемник DVB-T/T2;
- анализатор спектра;
- анализатор транспортного потока.

<sup>1</sup> Федеральная целевая программа "Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009–2015 годы". Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2009 г. № 985. URL: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/3606/>

<sup>2</sup> Протокол заседания Правительственной комиссии по развитию телерадиовещания от 22 сентября 2011 г. № 3. URL: <http://rtrs.ru/offdoc/read/30/>

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 3 марта 2012 г. № 287-р. URL: <http://rtrs.ru/offdoc/read/28/>

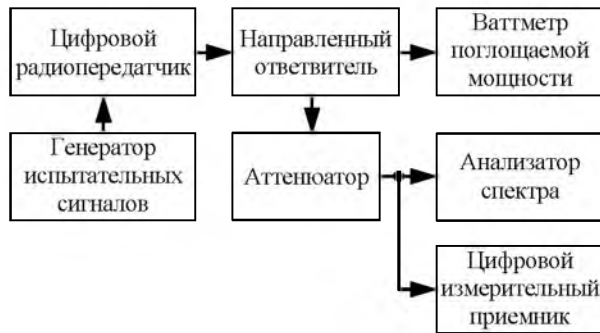


Рис. 1

Структурная схема для проведения таких измерений приведена на рис. 1 [1]. Для осуществления измерений на вход передатчика от генератора испытательных сигналов подают эталонный цифровой поток, содержащий сигналы телевизионных испытательных таблиц или тестовых видеосюжетов. Далее измерительным цифровым приемником и анализатором спектра контролируют параметры передачи. Дополнительно передачу контролируют наблюдением переданного видеосюжета на экране телевизионного приемника. На экранах телевизионных приемников должны отсутствовать искажения телевизионных изображений, а измеренные параметры должны соответствовать значениям, определенным в стандарте [1].

Одним из недостатков предложенной на рис. 1 схемы является отсутствие в ней анализатора транспортных потоков. Хотя указанный прибор и входит в состав типового комплекса измерительного оборудования для систем цифрового эфирного вещания стандарта DVB-T/T2, его применение не предусмотрено схемой на рис. 1. Корректность структуры и синтаксиса транспортного потока, полученного после демодуляции радиосигнала в цифровом измерительном приемнике, является необходимым условием для воспроизведения телевизионной программы на экране телевизора без искажений. Следовательно, необходимо подтверждать отсутствие ошибок в цифровом транспортном потоке на выходе цифрового измерительного приемника при помощи анализатора транспортного потока, функционирующего в соответствии с Рекомендацией ETSI TR 101 290<sup>3</sup> и ГОСТ Р 52592–2006 [2]. В этом случае структурная схема для измерений параметров цифровых радиопередатчиков должна иметь вид, представленный на рис. 2.



Рис. 2

**Мониторинг параметров цифровых радиопередатчиков в процессе вещания.** Хотя метод измерений, предложенный в ГОСТ Р 55696–2013, предназначен для приемосдаточных испытаний, сертификации, ввода в эксплуатацию и регламентного контроля передатчиков, с некоторыми оговорками его целесообразно применять и при мониторинге в процессе эксплуатации радиопередатчика. При эксплуатации радиопередатчика DVB-T/T2 на радиопередающих центрах на его вход подается не эталонный поток с генератора испытательных сигналов, а цифровой поток, полученный по каналу связи (оптическому, спутниковому, кабельному или др.), содержащий телевизионные программы. При распространении сигналов по каналам связи на них влияют различные дестабилизирующие факторы, под воздействием которых исходный цифровой поток может существенно искажаться. На вход радиопередатчиков DVB-T2 подается цифровой поток в формате T2-MI, в котором кроме телевизионных программ переносятся данные о режимах работы цифровых передатчиков, метки времени для организации односторонней сети и другая служебная информация. Так как режим работы радиопередатчика DVB-T2 устанавливается в соответствии с данными, полученными из потока T2-MI, целостность структуры потока в целом и каждого пакета в отдельности в высшей степени важна и напрямую влияет на стабильность работы передатчика. Рекомендация ETSI TR 101 290 версии 1.3.1 регламентирует параметры, определяющие целостность потока T2-MI, и методику их измерения.

В ОАО "НИИТ" автором настоящей статьи проведен эксперимент с целью оценки влияния ошибок в структуре потоков T2-MI на работу радиопередатчика DVB-T2 и на возможность приема телевизионного сигнала телезрителем. Для проведения эксперимента разработаны алгоритмы ввода ошибок в эталонный поток T2-MI, формируемый генератором телевизионных испыта-

<sup>3</sup> ETSI TR 101 290 Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems. URL: // [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/101200\\_101299/101290/01.03.01\\_60/tr\\_101290v010301p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101200_101299/101290/01.03.01_60/tr_101290v010301p.pdf)

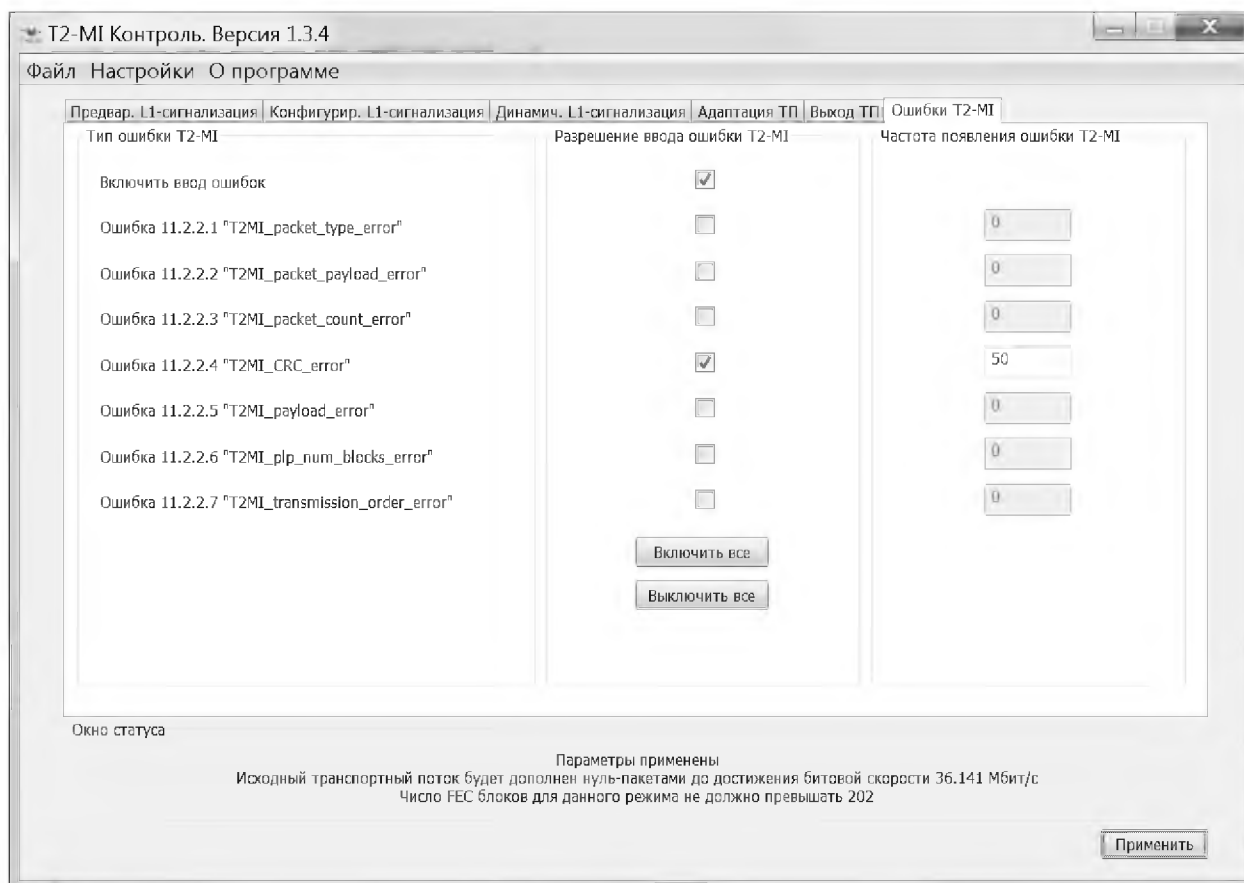


Рис. 3

тельных сигналов Г-420. Разработанные алгоритмы аппаратно реализованы в ПЛИС с помощью языка описания аппаратуры Verilog HDL. Управление вводом ошибок осуществляется с пользовательского ПК по интерфейсу USB с помощью графического интерфейса пользователя (рис. 3).

Графический интерфейс пользователя позволяет устанавливать тип ошибки, вводимой в поток (возможно вводить одновременного несколько ошибок), а также частоту появления ошибки. В ходе эксперимента в поток T2-MI преднамеренно вводилась ошибка "T2MI\_CRC\_error", состоящая в искажении информационных бит в пакете T2-MI [5]. При выбранных для эксперимента параметрах сети DVB-T2 информация, относящаяся к одному T2-кадру, передавалась с помощью 204 T2-MI-пакетов. Частота появления ошибки задавалась таким образом, чтобы она возникала периодически один раз за 70 T2-кадров в одном из пакетов T2-MI. Таким образом, только один из  $204 \cdot 70 = 14\,280$  пакетов T2-MI содержал ошибку. Учитывая, что рассчитанная длительность T2-кадра в выбранном режиме составляла приблизительно 217 мс, период появления преднамеренно введенной ошибки  $0.217 \cdot 70 \approx 15$  с.

Искаженный поток T2-MI подавался на вход модулятора DVB-T2 по интерфейсу ASI. К выходу модулятора подсоединен бытовой телевизионный приемник с возможностью приема радиосигналов стандарта DVB-T2, с помощью которого осуществлялся визуальный контроль.

На рис. 4 представлен журнал событий модулятора DVB-T2, на вход которого подавался преднамеренно искаженный поток. Сообщения в журнале отображаются снизу вверх. Сообщения с порядковыми номерами 0003, 0011, 0018 свидетельствуют о срыве синхронизации входного потока, вызванном появлением ошибки "T2MI\_CRC\_error". Временной интервал между указанными событиями совпадает с рассчитанным и равен приблизительно 15 с. Необходимо отметить, что модулятор DVB-T2 не информирует пользователя о типе и количестве произошедших ошибок, а лишь констатирует факт срыва синхронизации входного потока. Срыв синхронизации приводит к пропаданию радиосигнала на выходе модулятора и, следовательно, к пропаданию изображения на экране подключенного к модулятору телевизионного приемника. Сообщения с порядковыми номерами 0006, 0013, 0020 (рис. 4), свидетельствуют о восстановлении синхронизации входного

Event Log				
0021	7001	2015-03-16	12:09:18	TS-Primary Alarms, ALL OK
0020	7021	2015-03-16	12:09:18	TS Primary Sync Loss, Ok
0019	7001	2015-03-16	12:09:17	TS-Primary Alarms, Present
0018	7021	2015-03-16	12:09:17	TS Primary Sync Loss, Fail
0017	1600	2015-03-16	12:09:17	subMute On, No TS Lock
0016	1600	2015-03-16	12:09:16	subMute On, Modulator Restart
0015	1601	2015-03-16	12:09:06	subMute Off, Modulator Restart
0014	7001	2015-03-16	12:09:02	TS-Primary Alarms, ALL OK
0013	7021	2015-03-16	12:09:02	TS Primary Sync Loss, Ok
0012	7001	2015-03-16	12:09:02	TS-Primary Alarms, Present
0011	7021	2015-03-16	12:09:02	TS Primary Sync Loss, Fail
0010	1600	2015-03-16	12:09:01	subMute On, Modulator Restart
0009	1601	2015-03-16	12:08:50	subMute Off, Modulator Restart
0008	1601	2015-03-16	12:08:49	subMute Off, No TS Lock
0007	7001	2015-03-16	12:08:47	TS-Primary Alarms, ALL OK
0006	7021	2015-03-16	12:08:47	TS Primary Sync Loss, Ok
0005	1600	2015-03-16	12:08:47	subMute On, No TS Lock
0004	7001	2015-03-16	12:08:47	TS-Primary Alarms, Present
0003	7021	2015-03-16	12:08:47	TS Primary Sync Loss, Fail

Рис. 4

потока не более чем через 1 с после возникновения одиночной ошибки в потоке T2-MI. Опытным путем установлено, что с момента восстановления синхронизации входного потока до появления радиосигнала на выходе передатчика DVB-T2 проходит около 5 с. Кроме того, телевизионному приемнику также требуется время для установления синхронизации с входным сигналом. В итоге изображение на телевизионном приемнике восстанавливалось только через 9...11 с после появления одиночной ошибки в потоке T2-MI на входе модулятора DVB-T2.

В результате проведенного эксперимента установлено, что наличие даже одиночной ошибки "T2MI\_CRC\_error" (как и любых других ошибок, описанных в Рекомендации<sup>4</sup>) в потоке T2-MI приводит к срыву работы радиопередатчика DVB-T2 и, следовательно, к пропаданию изображения на экране абонентских телевизионных приемников на ощутимый интервал времени. Кроме того, радиопередатчик DVB-T2 не обладает встроенными средствами определения типа и количества ошибок во входном потоке, так как не является измерительным средством, что не позволяет своевременно выявлять и устранять при-

чину сбоев в телевещании. Следовательно, для проведения измерений в процессе эксплуатации радиопередатчиков стандарта DVB-T2 необходим непрерывный мониторинг потока T2-MI на входе передатчика во время вещания радиосигнала в эфир. Мониторинг должен осуществляться с помощью анализатора транспортных потоков, функционал которого позволяет анализировать потоки T2-MI в соответствии с документом A14-1. Однако в требованиях к анализатору транспортного потока, установленных ГОСТ Р 55696–2013, нет указания на необходимость определения ошибок в потоке T2-MI, что требуется исправить в следующих редакциях стандарта.

Структурная схема мониторинга параметров цифровых радиопередатчиков в процессе вещания представлена на рис. 5. Схема содержит два анализатора транспортных потоков. Если анализатор транспортного потока поддерживает функцию одновременного мониторинга двух или более цифровых потоков, то применение двух анализаторов избыточно. В указанном случае целесообразно применять один анализатор транспортного потока для одновременного мониторинга потоков на входе и на выходе цифрового радиопередатчика.

Предложенный способ мониторинга параметров эфирных цифровых радиопередатчиков в

<sup>4</sup> ETSI TR 101 290 ... URL: // [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/101200\\_101299/101290/01.03.01\\_60/tr\\_101290v010301p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101200_101299/101290/01.03.01_60/tr_101290v010301p.pdf)



Рис. 5

процессе вещания (рис. 5) обеспечивает контроль основных параметров тракта передачи цифровых телевизионных программ. В ОАО "НИИТ" разработан комплекс средств измерений для цифровых радиопередатчиков DVB-T2 [3], [4]. Измерительные приборы, входящие в состав комплекса, прошли испытания и включены в Государственный реестр средств измерений.

**Объективная оценка качества изображения и звука.** Качество изображения и звука в телевизионных программах, доставляемых абоненту, определяется не только отсутствием ошибок и сбоев в канале передачи. Снижение их качества может происходить, в частности, на стадии производства телевизионной программы, при обработке видео- и аудиосигналов и их компрессии. Изображение на экране приемника может во многих случаях содержать артефакты и искажения и при безошибочной работе канала связи. Например, чрезмерная компрессия видеосигнала, особенно во время динамичных сцен, приводит к появлению блочной структуры на изображении, сильно заметной человеческому глазу. Кроме того, оборудование обработки телевизионных сигналов может выдавать на выход черный или "замороженный" кадр, когда сигнал на входе отсутствует или сильно искажен, причем такой сигнал воспринимается системой передачи как корректный и излучается в эфир. Искажения такого рода существенно снижают удовлетворенность телезрителя качеством доставляемой телевизионной информации либо приводят к невозможности ее восприятия. С другой стороны, не всегда наличие ошибок в структуре цифрового потока приводит к эффекту, возникающему при повреждении потока T2-MI, – к срыву телевизионной трансляции. Например, влияние искаженных информационных бит в цифровом транспортном потоке MPEG-2 TS на передаваемое телевизионное изображение напрямую зависит от важности данных, переносимых в поврежденном пакете, и от количества поврежденной информации. Ошибка в транспортном потоке может привести как к пропада-

нию телевизионного изображения, так и вовсе не повлиять на визуально воспринимаемое зрителем качество телевизионной программы. Таким образом, ошибка, определенная анализатором транспортного потока, не всегда свидетельствует о снижении качества цифровых телевизионных программ, доставляемых населению.

Метод объективной оценки качества телевизионных программ в иностранной литературе принято обозначать термином "Quality of experience (QoE)", что в переводе означает "качество восприятия" или "качество впечатления". Указанный метод не предусматривает измерения технических параметров тракта передачи, основное внимание в нем уделяется анализу изображения и звука, определению всевозможных артефактов и искажений, влияющих на восприятие телевизионных программ телезрителем [5], [6].

Существующая методика проведения измерений в сетях цифрового телевидения, установленная стандартом [1], предполагает инструментальный контроль только технических параметров канала связи, по которому телевизионные программы доставляются до зрителей. Качество передаваемого телевизионного изображения при этом оценивается лишь с помощью визуального контроля, а контроль звукового сопровождения телевизионных программ стандартом не оговаривается. Применение измерительных средств, объективно оценивающих качество цифровых телевизионных программ, для мониторинга сетей эфирного цифрового телевизионного вещания не предусмотрено действующими регламентными документами.

Для автоматизации оценки качества цифровых телевизионных программ, транслируемых населению, а также для повышения объективности и эффективности существующих методов измерений на радиопередающих центрах требуется применение измерительных комплексов, позволяющих одновременно осуществлять как контроль параметров телевизионного тракта, так и оценку качества восприятия (QoE). Основой та-

ких комплексов может стать типовой комплекс измерительного оборудования, описанный в ГОСТ Р 55696–2013, в который должны быть добавлены измерительные средства для оценки качества восприятия. Качество восприятия может оцениваться определением следующих искажений изображения и звука:

- пропадание изображения, пропадание звука;
- "черный" кадр, "заморозка" видеосигнала;
- блочная структура изображения;
- "перегрузка" аудио, низкий уровень аудио (тишина).

Уже сегодня появляются отечественные средства измерений, осуществляющие объективную оценку качества изображения и звука. В ОАО

"НИИТ" разработана серия анализаторов АТС-3, позволяющих одновременно определять как ошибки в структуре и синтаксисе цифровых транспортных потоков и потоков T2-MI, так и искажения в передаваемом телевизионном изображении и звуке [6]. В настоящее время начата процедура проведения Государственных испытаний анализаторов АТС-3 с последующим включением в Государственный реестр средств измерений. Использование анализаторов такого типа в комплексах средств измерений для систем эфирного цифрового вещания будет способствовать улучшению качества телевизионных программ, доставляемых населению Российской Федерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 55696–2013. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для цифрового наземного телевизионного вещания DVB-T/T2. Технические требования. Основные параметры. Методы измерений. М.: Стандартинформ, 2014. 28 с.
2. ГОСТ Р 52592–2006. Тракт передачи сигналов цифрового вещательного телевидения, звенья тракта и измерительные сигналы. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007. 32 с.
3. Янин А. А. Метрологический контроль сети цифрового наземного ТВ-вещания DVB-T2 // Первая миля. 2013. № 6. С. 64–67.

4. Полосин Л. Л., Третьяк С. А. Комплекс средств измерений для контроля цифровых радиопередатчиков системы вещательного телевидения DVB-T2 // Вopr. радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2014. Вып. 1. С. 12–17.

5. Янин А. А. Перспективные методы контроля качества ТВ-программ в сети DVB-T2 // Телеспутник. 2014. № 5. С. 70–73.

6. Янин А. А. Объективная оценка качества изображения и звука в цифровых телевизионных программах // Телеспутник. 2014. № 9. С. 52–59.

A. A. Yanin

JSC "Television research institute"

## About improving existing measurement methods in networks of digital terrestrial television broadcasting

*Modern methods and means of measurement used in the Russian digital terrestrial television networks are considered. New methods for improving the efficiency and objectivity of measurements in digital television proposed.*

Digital television, DVB-T2, T2-MI, measuring complex, transport stream analyzer, digital measuring receiver, quality of experience

Статья поступила в редакцию 17 марта 2015 г.